

最大下運動時の心拍数と酸素摂取量の年間変動について*

中山 悌一**・北 博正***

(昭和 53 年 12 月 1 日受付)

On Seasonal Changes of Heart Rate and Oxygen-intake under Submaximal Muscular Exercises

By Teiichi NAKAYAMA and Hiromasa KITA

Various reports have been given on the change of the physiological functions which were significantly influenced by environmental conditions. The thermal environment of daily life fluctuates by seasons. It was considered that the physiological functions of a living body change in order to adapt the thermal environments. Therefore, we observed the changes of heart rate and oxygen-intake under the normal condition as seasonal changes, in addition to, under the cooled condition in summer and the heated condition in winter in order to maintain the same thermal conditions in four seasons.

Six healthy males participated in this experiment, and $\dot{V}O_2$ max being 48.4~58.5 ml/kg/min. Heart rate and oxygen-intake were measured at various work loads (300, 600, 900, 1200 kpm/min) in natural ambient conditions seven to nine times for each subject in a year and in the same ambient temperature (20°C) in four seasons.

We found that the changes of heart rate at four different work loads in a year were respectively 12% at 300 kpm/min, 15% at 600 kpm/min, 13% at 900 kpm/min, 9% at 1200 kpm/min, and it increased in proportion to the rising of ambient temperature. Similarly, oxygen-intake changed with experimental days was 26% at 300 kpm/min, 14% at 600 kpm/min, 11% at 900 kpm/min, 11% at 1200 kpm/min in a year, where as oxygen-intake was almost independent of the ambient temperature at three work loads (600, 900, 1200 kpm/min) but oxygen-intake at 300 kpm/min decreased in proportion to the rise of ambient temperature. Because heart rate and oxygen-intake changed as described above during the year, heart rate at 50% $\dot{V}O_2$ max varied by 5~19% on the regression line of heart rate on oxygen-intake for each subject.

At the same ambient temperature (20°C) in four seasons, heart rate under heated condition in winter was significantly higher than that under cooled condition in summer at the work loads of the 900 kpm/min and 1200 kpm/min, but there was no difference of the oxygen-intake among four seasons. As to the relationship between heart rate and oxygen-intake, heart rate for the same level of oxygen-intake was higher under heated condition in winter than under cooled condition in summer in parallel with the work load.

According to the above experimental results, the seasonal change of the heart rate and correlation between heart rate and oxygen-intake was recognized. Therefore, we should considered the above results when we made use of these relationship for the estimation of physical fitness level, and effects of physical training and preferable exercise over a long period of time.

* 第 33 回日本体力医学会において発表した。

** 健康学研究室

*** 体力学研究室

1. 緒 言

身体の生理機能に対して、温熱環境が種々の影響を与えることは、多くの研究により知られている^{1,8,12,19,21)}。古くは、1942年に Dill ら⁹⁾が、0°C~50°C までの6種の異なる温熱環境下で、9種の異なる運動を負荷した場合に、酸素摂取量には有意な変化を示さなかったが、高温環境下において心拍数が有意に増加することを認めている。さらに Brouha ら⁴⁾は、酸素摂取量に対しても、環境温度が影響を及ぼすことを報告している。彼らは、被検者に同一運動を負荷した場合に、高温環境下(37°C)では、常温環境下(25°C)よりも低い酸素摂取量を示すことを認めている。最近では、黒田ら^{10,13,15)}が温熱環境と身体運動に関する一連の研究から、心拍数は多くの研究者の報告と同様に、高温環境下において増加することを認めている。しかし、酸素摂取量は運動負荷の強弱によって、環境温の影響が異なることを報告している。

このように、温熱環境が身体運動時の心拍数と酸素摂取量に及ぼす影響に関する研究の多くは、ほとんどが一定期間内に人工的に環境温を変化させることによって行なわれている。しかし、人間が生活する温熱環境条件は、1年間を1サイクルとして日々変化し、とくに日本においては年間の温度差も大きく、四季おりおりの季節感をもたらす、日本人の基礎代謝も夏に低く冬に高いという季節変動を示すという報告²³⁾もある。そして、人間が生活する温熱環境条件

は季節変化に伴い変動するが、その温熱環境に適応するために、生体の生理機能も変化していると考えられる。そこで、我々は約1年間にわたり季節変化に伴う自然環境下と、各季節に環境温を約20°Cに設定した人工環境下において、同一運動負荷に対する心拍数と酸素摂取量を測定することにより、身体の季節馴化に伴う年間の季節変動を明らかにし、さらに先人の人工気候室において環境温を変化させた実験結果と比較、検討することを目的とした。

2. 方 法

1) 被検者と着衣条件

表1は被検者の身体的特性を示している。被検者は、年齢22~25歳までの過去にスポーツ活動を経験したことのある健康な体育専攻学生6名である。体格としての身長、体重、さらに呼吸・循環系機能の体力レベルを示す体重当たりの最大酸素摂取量は、同年代の一般青年男子と比較してやや高い値かと思われる。

被検者の着衣条件は、安静時に寒さを訴える場合には毛布をかけたが、運動時には年間を通じ長袖又は半袖のトレーニングシャツ、トレーニングパンツ各1枚と、トレーニングシューズを着用させた。

2) 実験期間と環境条件

実験は、1977年1月から同年11月までの約1年間にわたって実施し、測定時間は午前11時から午後4時までとした。実験期間中、自然

Table 1. Physical Characteristics of the Subjects.

Subj.	Age. (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	$\dot{V}O_2$ max (l/min)	$\dot{V}O_2$ max/B · W (ml/min/kg)
T. O.	25	170.4	68.2	3.94	57.8
S. M.	23	164.5	67.5	3.95	58.5
T. N.	24	178.0	71.7	3.47	48.4
S. K.	24	170.3	69.3	4.07	58.7
K. F.	22	172.6	71.1	3.74	52.6
A. Y.	23	176.0	64.4	3.62	56.2
Mean	23.5	172.0	68.7	3.80	55.4
S. D.	1.05	4.78	2.6	0.23	4.1

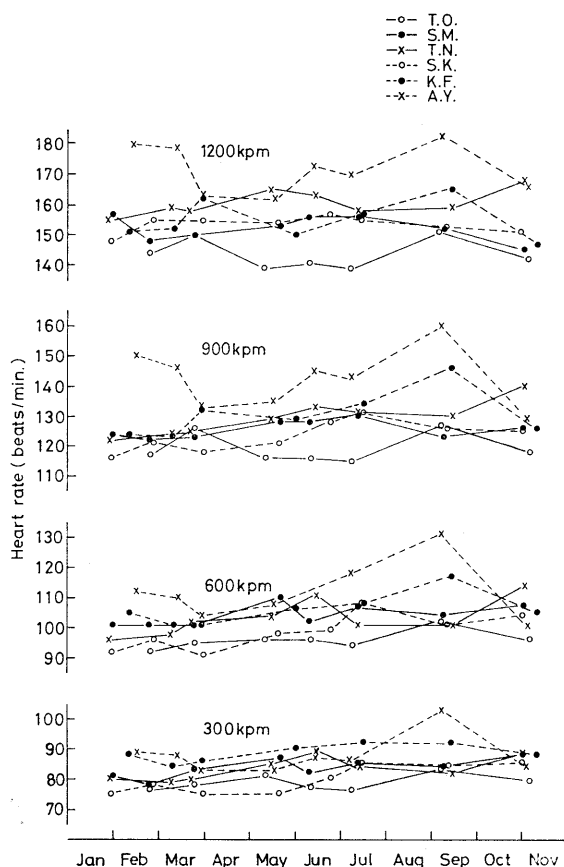


Fig. 1-1. Seasonal changes of heart rate at various work loads.

環境温下で各被検者 7 回～9 回、さらに冬季と夏季に電気ヒーターと電気クーラーを用いて、実験室温を約 20°C に設定した環境下で実験を実施した。実験室温を上昇する際には、相対湿度を外気の湿度と同様になるように努めた。なお、人工環境温下への被検者の暴露開始時間は、安静時測定開始の 30 分前からであった。

3) 実験手順と測定方法

被検者は実験開始 3 時間前までに食事を取り、喫煙は 2 時間前までとした。運動負荷に先立ち被検者に 40 分間の仰臥位をとらせ、最後の 10 分間に心拍数と酸素摂取量を測定し安静時の値とした。その後ただちに、最大下運動負荷実験を実施した。運動負荷は、自転車エルゴメーター (Monark 社) を使用し毎分 50 回転で、300 kpm/min, 600 kpm/min, 900 kpm/min, 1200

kpm/min の 4 種の運動負荷をそれぞれ 4 分間、計 16 分間を連続的に負荷した。各負荷での最後の 1 分間に心拍数及び酸素摂取量の測定を行ない、各運動負荷での測定値とした。

心拍数は、実験中連続記録した胸部双極誘導の心電図から R 波を数え算出した。呼吸ガスの分析は、レスピライザー (福田製 BM-10)、 O_2 分析器 (Beckman 製 OM-11) 及び CO_2 分析器 (Beckman 製 LB-2) を使用し、換気量は呼吸量計 (福田製 CR-20 及び CR-50) を用い、酸素摂取量を算出した。

3. 結 果

図 1-1 は、各運動負荷時 (3 分目から 4 分目) の心拍数の変動を示したもので、各運動負荷に対する個体内変動が大きいことが認められ、

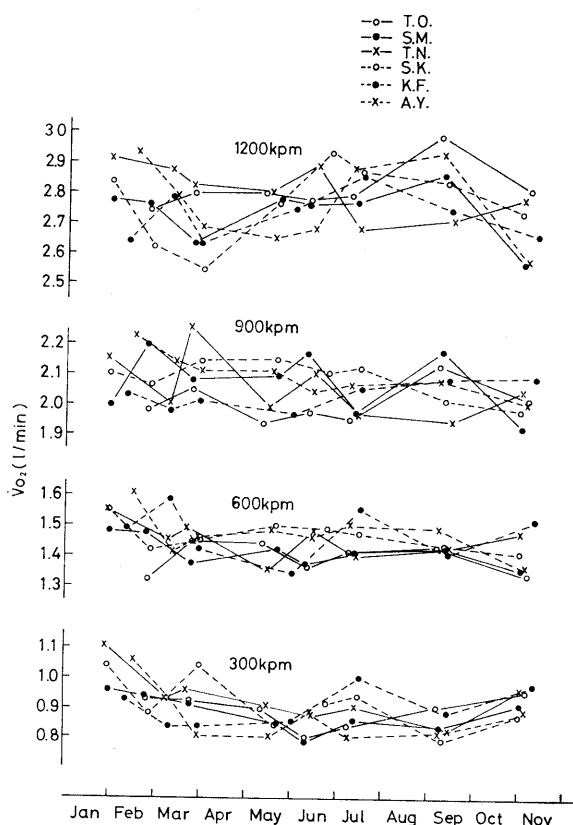


Fig. 1-2. Seasonal changes of oxygen-intake at various work loads.

Table 2-1. Difference between Maximum and Minimum of the Heart Rate at Various Work Loads.

Load (kpm/ min)	300	600	900	1200
Subj.				
T.O.	9.2	10.9	10.4	8.6
S.M.	12.8	8.9	6.6	8.3
T.N.	12.7	18.8	14.8	8.4
S.K.	13.3	18.7	12.9	8.1
K.F.	9.5	15.8	18.7	12.2
A.Y.	24.1*	29.7	24.0	13.0
Mean	11.5	14.6	12.7	9.1
S.D.	2.0	4.5	4.6	1.7

$$\frac{\text{Max}-\text{Min}}{\text{Min}} \times 100(\%)$$

* As the value was annulled for the test of rejection, Subj. A. Y. was taken off the calculation of the mean and S. D.

環境温が高くなる夏季に心拍数が増加している。さらに図 1-2 は、酸素摂取量の実験期間中の変動を示し、各運動負荷に対する個体内変動が認められた。

表 2-1 は、図 1-1 に示した各被検者の心拍数の個体内変動を表の下に示した式によって変動率として算出した。これによると、300 kpm/min の運動負荷では各被検者で 9%~24% の変動を示し、600 kpm/min では 9%~30%、900 kpm/min では 7%~24%、さらに 1200 kpm/min の運動負荷では 8%~13% の変動を示した。表 2-2 は、酸素摂取量の変動率を示し、300 km/min の軽い運動負荷では最大の変動を認め、3 名の被検者が 30% 以上の変動を示した。その他の運動負荷では、600 kpm/min で 9%~18%、900 kpm/min で 6%~16%、さらに 1200 kpm/min では 9%~15% の変動を示

Table 2-2. Difference between Maximum and Minimum of the Oxygen-intake at Various Work Loads.

Subj.	Load (kpm/ min)	300	600	900	1200
T.O.		18.7	9.3	10.0	9.0
S.M.		21.7	9.0	11.3	11.4
T.N.		33.3	14.9	16.2	8.6
S.K.		31.2	16.9	11.1	15.4
K.F.		19.0	17.8	6.4	8.8
A.Y.		31.7	17.9	11.1	10.8
Mean		25.9	14.3	11.0	10.7
S.D.		6.8	4.1	3.1	2.6

$$\frac{\text{Max}-\text{Min}}{\text{Min}} \times 100(\%)$$

Table 3. Relationship between Ambient Temperature in a Year and Heart Rate and Oxygen-intake at Various Work Loads.

	Load (kpm/ min)	Regression of first degree		Regression of second degree	
		r	Sig.	F	Sig.
Heart rate	300	0.512	***	9.88	**
	600	0.551	***	10.97	**
	900	0.426	**	8.73	**
	1200	0.123	N.S.	2.92	N.S.
Oxygen- intake	300	-0.570	***	19.18	***
	600	-0.279	N.S.	5.61	*
	900	-0.264	N.S.	2.51	N.S.
	1200	0.171	N.S.	5.14	*

*** P<0.001, ** P<0.01, * P<0.05

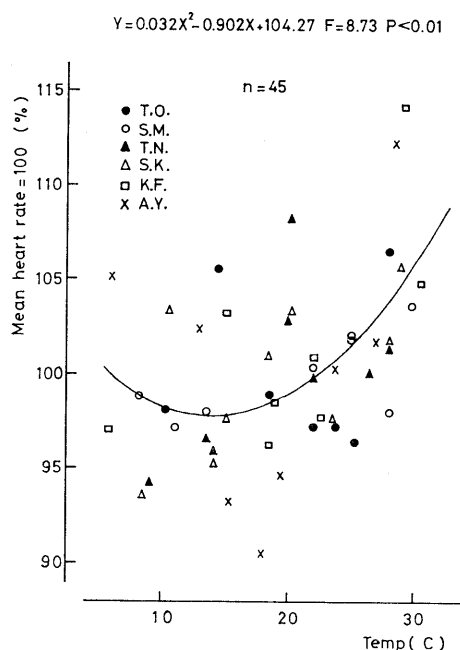


Fig. 2. Relationship between heart rate at 900 kpm/min and ambient temperature in a year.

した。

図2は、900 kpm/min の運動を负荷した時の心拍数の変動と、季節変化に伴う年間の環境温との関係を示した。横軸に環境温を取り、縦軸

には 900 kpm/min の運動负荷時の各被検者の心拍数の平均値を 100% とし、各測定値を平均値からの偏差としてプロットしたものである。この図から心拍数は、環境温が 22℃～23℃ までは変化が認められないが、環境温がそれ以上になると、環境温の上昇にともない心拍数が増大する。

表3は、各運動负荷での心拍数と酸素摂取量を、環境温との関係について示したものである。心拍数は 1200 kpm/min の強い運動负荷を除いて環境温と有意な関係を認めた。酸素摂取量は、300 kpm/min の軽い運動负荷では環境温が低い時には高い値を示す逆相関の関係を認めた。しかし、その他の運動负荷では、600 kpm/min と 1200 kpm/min の運動负荷時の酸素摂取量と環境温とに 5% 水準で 2 次関数の関係を認めたが、900 kpm/min の運動负荷では環境温との有意な関係を認めなかった。

表4は、冬季と夏季に人工的に環境温を 20℃ に設定した環境下で得られた心拍数と酸素摂取量を示した。酸素摂取量は両季節間に有意な差は認められないが、心拍数は、夏季に環境温を下降した時よりも、冬季に環境温を上昇した時に高い値を示し、900 kpm/min と 1200 kpm/min の運動负荷においては 5% 水準で有意な差が認められた。しかし、300 kpm/min と 600

Table 4. Heart Rate and Oxygen-intake at Same Ambient Temperature of about 20°C in Winter and Summer.

	Load (kpm/ min)	Winter	Summer	<i>t</i>
		Mean±S.D.	Mean±S.D.	
H.R. (beats/ min)	300	85.7±6.4	80.2±4.4	1.733
	600	106.7±9.7	100.0±6.3	1.409
	900	135.3±13.8	120.0±6.8	2.443*
	1200	164.7±13.7	147.7±10.8	2.391*
$\dot{V}O_2$ (ml/min)	300	981±64	944±71	0.908
	600	1530±89	1479±127	0.811
	900	2032±81	2093±136	0.931
	1200	2777±114	2862±68	1.571

* $P < 0.05$

kpm/min の比較的軽い運動負荷では有意な差が認められなかった。

図3は、冬季と夏季の人工環境時(20°C)と、春季と秋季の約20°Cの自然環境下での心拍数と酸素摂取量の関係を示したものである。夏季の人工環境時の回帰直線は、その他の三つの季節での回帰直線との間に5%水準、0.1%水準

で有意な差が認められた。

4. 考 察

心拍数は、約1年間の実験期間中に各運動負荷において環境温との関係が深かった。心拍数と環境温との関係については、一般的に環境温が高くなると心拍数も増加するとされている。身体運動により体内に産熱が起ると体温の恒常性を保つために、身体は体熱の拡散を増大する必要がある。暑熱の身体に及ぼす影響として、体表温の上昇と発汗作用の二つが挙げられる。体表温の上昇により末梢血管の拡張が起こり、皮膚血流量が増大することが知られている。この皮膚血流量の増大のためには心拍出量を増加させることが必要である。しかし、高温環境下においては1回拍出量が増加しない²⁾ことから、心拍数の増加となって現われると考えられている。さらに、蒸発される水分は、血液によって運ばれ血液の濃度が増す。これらのことにより、激しい筋運動による体内の産熱の増加と、高温環境下での放熱作用の必要性は循環系機能への

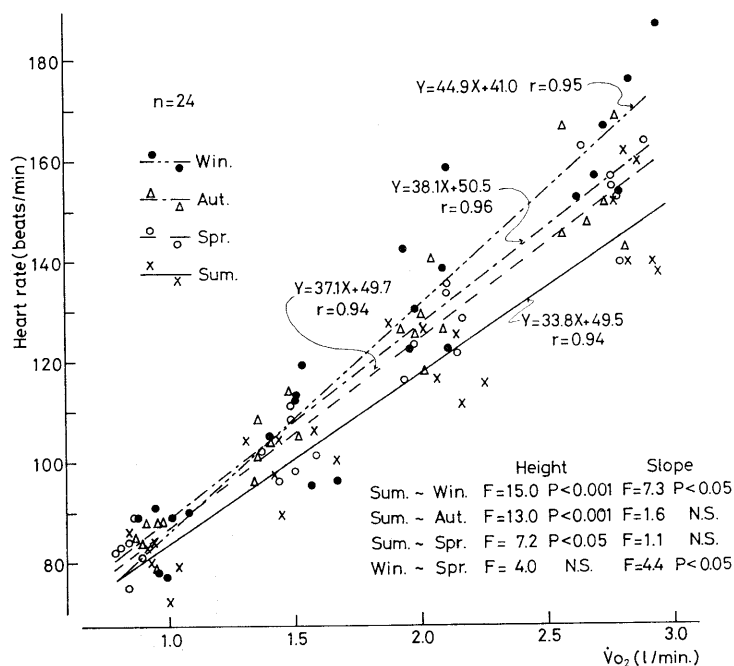


Fig. 3. Relationship between heart rate and oxygen-intake at the same ambient temperature (20°C) in four seasons.

負担となる⁹⁾。

心拍数は、環境温の上昇に伴い増大するが、その増大の様子が運動負荷の強弱によって異なることが報告されている。沼尻ら²⁰⁾は、RMR (作業時代謝量-安静時代謝量/基礎代謝量)が、0.6 や 2.6 という軽い運動負荷では、環境温 30℃ までは心拍数の増加は認められないが、それ以上の環境温では心拍数が増加することを報告している。さらに黒田ら¹⁴⁾は軽い運動負荷時では 0℃~20℃ の環境温度においては、心拍数に有意な増加を認めないが、運動負荷が強くなると、0℃~30℃ までの環境温の上昇に伴い心拍数の増加が認められることを報告している。著者らの実験では、300 kpm/min と 600 kpm/min、さらに 900 kpm/min の運動負荷では環境温と有意な関係を認めたが、1200 kpm/min の運動負荷では環境温と独立的な関係となった。このことは、沼尻らや黒田らの人工環境時における実験結果とやや異なる点である。この原因として、著者らの実験において環境温が上昇する夏季には、身体が高温環境に暴露する機会も多く、高温に対する馴化が高まったものと考えられ、「温度馴化が進むと皮膚への血流配分が高まることなしに放熱が行なわれる」という Åstrand ら⁸⁾の知見により、夏季に運動強度が強くて体内における産熱量が高まった時でも、心拍数の増加を示さないで放熱が行なわれたものと考えられる。このように、環境温と心拍数の関係を左右する因子として季節馴化が考えられる。三浦ら^{17,18)}は、軽労働条件下において「快適温度」なるものは、夏季は室温が高い方に傾き、冬季は低い方に移動することを報告している。さらに、Williams ら²⁴⁾は、冬季と夏季に同一の温度条件下において、同一の作業を行なわせた場合に、冬季の方が心拍数が多くなることを認めている。著者らの実験では、表3に示したように冬季と夏季に同一温熱環境下で同一の運動を負荷した場合に、900 kpm/min と 1200 kpm/min の運動負荷で冬季の方が有意に高い心拍数を示した。このように、同一の温熱環境下において冬季と夏季で異なっ

た心拍数を示したことは、身体に季節変化に伴ってその温熱環境に対する適応が働いたものと考えられる。

心拍数と環境温との関係については、被検者も重要な因子となる。Piwonka ら²²⁾は、日常トレーニングを行なっている被検者は、トレーニングによって温熱環境に対する馴化が促進され、高温環境に暴露されても、非トレーニング群と比較して心拍数が増加しないことを報告している。著者らの被検者は、過去にトレーニング経験を有する被検者であった。

酸素摂取量は、図1-2に示したように測定日ごとにバラツキを認めた。そして、300 kpm/min の非常に軽い運動負荷では、冬季に高い代謝量を示し、変動率も大きかった。これは、黒田ら¹⁴⁾が述べているように、身体が低温環境に暴露され、運動負荷が軽いために、筋作業以外に shivering や nonshivering thermogenesis の作用により、代謝が高まったものと考えられる。沼尻ら²⁰⁾も、RMR 0.6 の運動強度では環境温が5℃の時は環境温 30℃ の時と比較して、酸素摂取量が平均値で約 45% の増加を示し、RMR 2.6 の運動強度では約 15% の増加を報告している。しかし、中程度の運動強度では、酸素摂取量と環境温の関係について研究者によって意見の相異がみられる。黒田ら¹³⁾は、720 kpm/min の運動負荷では、環境温が10℃の時に酸素摂取量はわずかに小さく、40℃の時にわずかに大きくなるが、その間の環境温度では差を認めなかったことを報告している。Brouha ら⁴⁾は、540 kpm/min の運動負荷では、高温下(37℃)における代謝量は、常温下(25℃)の時よりも小さいことを認めている。しかし、黛ら¹⁰⁾は女性の被検者を用い 600 kpm/min の運動を負荷した場合に、環境温 35℃ の条件下では環境温 25℃ の時よりも、大きい酸素摂取量を示すことを報告している。そして、その理由として、「酸素摂取量が高温環境下で増加したのは、体温上昇による代謝の亢進と、心拍数の増加、発汗量の増加などの生理学的な反応による代謝の増加のためであろう」と述べている。このよ

うに環境温が酸素摂取量に及ぼす影響に関する知見が、研究者によって異なるのは、作業強度、環境温度、被検者などが実験条件によって異なるためだと考えられる。著者の酸素摂取量に関する実験結果は、300 kpm/min の非常に軽い運動負荷を除いて、年間の季節変動に伴う 5°C ~ 31°C までの環境温の変化に対して、ほとんど有意な関係が認められなかった。そこで、酸素摂取量の変動は、300 kpm/min の運動負荷を除いて、年間の環境温の変化と独立した個体内変動だと思われる。

心拍数と酸素摂取量の関係は、両者間に非常に高い相関があることから、最大酸素摂取量の推定⁷⁾や、運動処方⁸⁾などに利用されている。しかし、年間の季節変動に対して心拍数と酸素摂取量は、上述したような変動を示すので、両者間の回帰直線も実験期間中に、50% $\dot{V}_{O_2 \max}$ 時の酸素摂取量に対する心拍数は、各被検者で 5% ~ 19% の個体内変動を示した。さらに、春、夏、秋、冬に環境温を一定 (20°C) に設定した時でも、夏季の人工環境下における心拍数と酸素摂取量の回帰直線は、その他の季節における回帰直線と有意な差が認められ、その傾向は運動負荷が強い時に著明であった。

年間の季節変動を環境温の変動として捉えた場合での、心拍数と酸素摂取量の環境温との関係は、先人の人工環境下においての実験報告と同じような傾向を認め、心拍数は年間の環境温の変動に対して、環境温が高い時と低い時とでの変動率も大きく、さらに、春、夏、秋、冬に環境温を一定にした時でも身体の季節馴化によって、冬季と夏季とに有意な差を生じた。そこで、長期間にわたって心拍数を用いて体力レベルを判断したり、心拍数と酸素摂取量の関係から最大酸素摂取量を推定したり、さらに運動処方を行なう場合にも上述したこれらの結果を考慮する必要があると思われる。

5. 結 論

健康な青年男子 6 名を用いて約 1 年間にわた

り、300 kpm/min, 600 kpm/min, 900 kpm/min, 1200 kpm/min の 4 種の最大下運動を、季節変化に伴う自然環境下で各被検者に 7 回 ~ 9 回、さらに冬季と夏季に人工環境下 (約 20°C) において負荷し、心拍数と酸素摂取量の変動を観察したところ以下の結果を得た。

1) 年間における心拍数は、各被検者において、300 kpm/min の運動負荷で 9% ~ 24%, 600 kpm/min で 9% ~ 30%, 900 kpm/min で 7% ~ 25%, 1200 kpm で 8% ~ 13% の変動を示し、1200 kpm/min の運動負荷を除いて、環境温の上昇にともない 2 次関数的に心拍数も増加するという関係を認めた。

2) 年間における酸素摂取量は、各被検者において、300 kpm/min の運動負荷では 19% ~ 33%, 600 kpm/min では 9% ~ 18%, 900 kpm/min では 6% ~ 16%, 1200 kpm/min では 9% ~ 15% の変動を示し、300 kpm/min の運動負荷では環境温が低い時に酸素摂取量が多くなるという関係を認めたが、その他の運動負荷では環境温とほとんど独立的な関係にあった。

3) 冬季と夏季の人工環境下 (20°C) での酸素摂取量には有意な差を認めなかったが、心拍数は夏季よりも冬季に有意な高値を示した。

4) 春、夏、秋、冬に環境温を一定 (20°C) にした時に、夏季の人工環境下での心拍数と酸素摂取量との回帰直線は、冬季の人工環境下と、春季及び秋季の自然環境下で得られた回帰直線と比較して有意な差を認めた。

以上をまとめると、最大下運動時の同一運動負荷に対する心拍数と酸素摂取量は、年間の季節変動にともない個体内変動が認められ、酸素摂取量は、非常に軽い運動負荷時を除いて環境温の影響をほとんど受けないが、心拍数は、環境温が上昇するにともない増大する。さらに春、夏、秋、冬に人工的に環境温を一定 (20°C) に設定した時に、夏季と冬季の同一運動負荷時に対する心拍数は有意な差を認めた。

本稿を終えるに当たり、本論文の作成に御指導を賜りました本学大学院健康学研究室の松岡脩

吉教授に厚く御礼申し上げます。さらに、被検者、検者として、又作図等に御協力頂きました本学大学院健康学研究室及び体力学研究室の皆様にご感謝致します。

参考文献

- 1) Adams, W. C., R. H. Fox. *et al.*: Thermoregulation during marathon running in cool, moderate, and hot environments. *J. Appl. Physiol.*, 38 (6): 1030-1037, 1975.
- 2) Asmussen, E.: The cardiac output in rest and work in humid heat. *Am. J. Physiol.*, 131: 54-59, 1940.
- 3) Åstrand, P.-O., K. Rodahl.: 運動生理学, 望比奈一男他訳, 大修館書店, 397-398, 1976.
- 4) Brouha, L., P. E. Smith, Jr., R. Be. Lanne and M. E. Maxfield: Physical reactions of men and women during muscular activity and recovery in various environment. *J. Appl. Physiol.*, 16 (1): 133-140, 1960.
- 5) Dill, D. B.: Effects of physical strain and high altitudes on the heart and circulation. *Am. Heart. J.*, 23 (4): 441-454, 1942.
- 6) 猪飼道夫, 山地啓司: 心拍数からみた運動強度—運動処方の研究資料として, 体育の科学, 21(9): 589-593, 1971.
- 7) 石井喜八: 最大酸素摂取量の間接測定, 身体運動の生理学, 杏林書院, 370-386, 1973.
- 8) Kamon, Eliezer, and Harwood S. Belding: Heart rate and rectal temperature relationships during work in hot humid environments. *J. Appl. Physiol.*, 31 (3): 472-477, 1971.
- 9) 黒田善雄ほか: 環境温度が持久性運動に及ぼす影響, 1971 年度日本体育協会スポーツ科学研究委員会報告, 1971.
- 10) 黒田善雄ほか: 環境温度が最大下作業中及び回復過程の生体に及ぼす影響について, 1972 年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, 1972.
- 11) 黒田善雄ほか: 環境温度が安静状態にある生体に及ぼす影響について, 1972 年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, 1972.
- 12) 黒田善雄ほか: 3 温度 (10°C, 20°C, 30°C) 条件下における運動中心拍数と % $\dot{V}O_2 \max$ との関係, 1973 年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, 1973.
- 13) 黒田善雄ほか: 湿度の performance への影響について, 1973 年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, 1973.
- 14) 黒田善雄ほか: 環境温度が最大下作業中の循環系機能に及ぼす影響について, 1973 年度日本体育協会スポーツ科学研究委員会報告, 1973.
- 15) 黒田善雄ほか: 環境温度が長時間運動中の心機能に及ぼす影響について——特に, 心電図による左室機能の評価と心拍出量の関係を中心として——, 1974 年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, 1974.
- 16) 黛 誠ほか: 高温環境下及び涼環境下における女性の運動時と回復期の生理反応と酸素摂取量, 第 32 回日本体力医学会大会予稿集, p 132, 1977.
- 17) 三浦豊彦, 阿久津綾子: 至適温度の季節変動に関する研究—女子軽作業者における温熱感, 快適度および罹病率と温熱条件の関係—, 労働科学, 38(7): 383-398, 1962.
- 18) 三浦豊彦, 阿久津綾子: 至適温度の季節変動に関する研究—足冷感, 発汗, 局部温感と温熱条件との関係—, 労働科学, 39(3): 122-129, 1963.
- 19) 三浦豊彦ほか: 乾球温度 5°~40°C が筋労作業時および椅座精神作業時の生理機能に及ぼす影響に関する実験的研究, 労働科学, 48(3): 103-136, 1972.
- 20) 沼尻幸吉, 大西徳明: 環境温度が運動時の生理機能におよぼす影響に関する実験的研究, 体育科学, 1: 144-151, 1973.
- 21) Peterson, E. S. and H. Vejby-Christensen: Effect of body temperature on steady state ventilation and metabolism in exercise. *Acta Physiol. scand.* 89: 342-351, 1973.
- 22) Piwonka, P. W., S. D. Robinson, V. L. Gay, and R. S. Manalis.: Preacclimatization of man to heat by training. *J. Appl. Physiol.*, 20(3): 379-384, 1965.
- 23) 佐々木隆ほか: 近年における基礎代謝の季節変動の動向について, 日本生理誌. 36: 389, 1974.
- 24) Williams, C. G. *et al.*: Rate of loss of acclimatization in summer and winter. *J. Appl. Physiol.*, 22 (1): 21-26, 1967.